



Парфентьева О.И.<sup>1)</sup>, Сонькин В.Д.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии,  
ул. Моховая, д. 11, Москва, 125009, Россия

<sup>2)</sup> Институт возрастной физиологии РАО, ул. Погодинская,  
д. 8, корп. 2, Москва, 119121, Россия

## НЕЛИНЕЙНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО РАЗВИТИЯ ОТ ИМТ У МАЛЬЧИКОВ-ШКОЛЬНИКОВ 7–12 ЛЕТ

**Введение.** Ожирение в детском и подростковом возрасте ассоциировано с ухудшением моторного развития. Однако остается открытым вопрос о влиянии недостаточного веса на моторное развитие, а также о паттерне зависимости показателей моторного развития от индекса массы тела (ИМТ). Целью данной работы была оценка зависимости показателей моторного развития от ИМТ среди мальчиков 7–12 лет.

**Материалы и методы.** Данные были собраны в 38 субъектах 8 федеральных округов РФ среди мальчиков 7–12 лет из 1–5 классов. Оценивали длину и массу тела, определяли ИМТ. На уроках физкультуры оценивались показатели моторного развития, а именно: результаты бега 6 минут (метры), челночного бега 3 по 10 метров (секунды), прыжка в длину с места (см), наклона вперед из положения стоя (см) и спринтерского бега 30 метров (секунды). Итоговый массив включал 54 381 наблюдение. Строились линейная, квадратичная и обобщенные аддитивные модели для определения паттерна зависимости показателей моторного развития от ИМТ.

**Результаты.** Показано, что высокие значения ИМТ ассоциированы с менее успешным выполнением двигательных тестов на развитие показателей выносливости и скоростно-силовых способностей. Дети с нормальным и недостаточным весом практически не отличались по результатам двигательных тестов. Несмотря на низкий процент объясненной дисперсии показателей моторного развития, прослеживается четкая зависимость между развитием некоторых моторных навыков и ИМТ. Для группы 7-летних детей четкой зависимости между развитием моторики и ИМТ не было. В то время как для возрастных групп 8–12 лет выявленная модель проявляется в форме J-образной зависимости двигательных возможностей от ИМТ.

**Заключение.** Выявлено, что для группы детей 8–12 лет нелинейная (квадратичная) функция лучше всего описывает зависимость показателей моторного развития от ИМТ. Можно полагать, что построение моделей, учитывающих нелинейные взаимодействия между показателями моторного развития и ИМТ с учетом других факторов, поможет выявить зону условного оптимума состава тела с точки зрения адаптационного потенциала организма и сопоставить её параметры у представителей разного пола и возраста.

**Ключевые слова:** биологическая антропология; моторное развитие; ИМТ; популяционный мониторинг; школьники; нелинейные взаимодействия; возрастная физиология

DOI: 10.55959/MSU2074-8132-23-15-1-5 (LJA)

## Введение

Ожирение в детском и подростковом возрасте ассоциировано с ухудшением общего состояния здоровья и имеет устойчивый трекинг во взрослую жизнь [Петеркова с соавт., 2021]. С 1976 по 2013 год число случаев ожирения среди детей выросло на 47%, около 340 миллионов детей и подростков по всему миру имеют признаки избыточного жираотложения [WHO, 2015]. В Российской Федерации в 2010–2012 годах было выявлено около 6% случаев ожирения среди детей и подростков 5–18 лет [Соболева с соавт., 2014]. Чаще всего встречается простое (конституционально-экзогенное, идиопатическое) ожирение, обусловленное избыточным потреблением высококалорийной пищи и снижением двигательной активности [Петеркова с соавт., 2021]. Как правило, дебют простого детского ожирения наблюдается в двух возрастных диапазонах: в возрасте 5 лет и в подростковом возрасте [Петеркова с соавт., 2021]. Одно из последствий избыточного жираотложения в детском возрасте – это ухудшение показателей моторного развития [D'hondt et al., 2011; Castetbon, Andreyeva, 2012; Chivers et al., 2013; Kakebeeke et al., 2017; Barros et al., 2021; Nobre et al., 2022]. Дети с ожирением в 5-летнем возрасте хуже справляются с тестовыми заданиями на двигательную активность при поступлении в школу, чем дети, у которых в этот период вес был в норме [Nobre et al., 2022]. Большинство исследователей при оценке влияния состава тела на показатели моторного развития акцентируют свое внимание на дошкольниках и подростках с избыточной массой и ожирением, часто упуская из виду ту часть диапазона индекса массы тела (ИМТ), где он представлен более низкими значениями, чем популяционная средняя. Ранее было показано, что сниженный уровень ИМТ, который может отражать недостаточное развитие скелетной мускулатуры, также ассоциирован с ухудшением развития моторики у детей [Altero et al., 2010]. Только в нескольких исследованиях был проанализирован паттерн зависимости показателей моторного развития от всего диапазона ИМТ, авторы пришли к выводу, что указанная зависимость может иметь нелинейный характер [Bovet et al., 2007, Huang, Malina, 2008; Lopes et al., 2018]. Поскольку оптимальность величины ИМТ

с точки зрения реализации двигательной функции может варьировать от популяции к популяции, необходимо проведение исследований для российской выборки детей.

Целью данной работы была оценка зависимости показателей моторного развития от ИМТ среди мальчиков 7–12 лет из 38 регионов РФ.

## Материал и методы

Данные были собраны в 38 субъектах 8 федеральных округов РФ в ходе мониторинга физического здоровья школьников, проводимого Институтом возрастной физиологии Российской академии образования по заказу Министерства просвещения (2021–2022 гг.). Медицинские работники в школах оценивали длину в сантиметрах (см) и массу тела в килограммах (кг) ребенка. В итоговый массив были включены только данные мальчиков с 1 по 5 класс. На уроках физкультуры оценивались показатели моторного развития, а именно: результаты бега 6 минут (метры), челночного бега 3 по 10 метров (секунды), прыжка в длину с места (см), наклона вперед из положения стоя (см) и спринтерского бега 30 метров (секунды). Рассчитывали индекс массы тела (ИМТ) как отношение массы тела (кг) к квадрату длины тела ( $m^2$ ). Проводили расчет z-значений ИМТ (z-оценок или SDS) относительно референтной выборки в зависимости от возраста в месяцах. В качестве референтной выборки были использованы данные Всемирной организации здравоохранения [Onis et al., 2007].

Для определения возрастной группы возраст обследованных округляли до целого числа следующим образом. К группе детей 7 лет относили детей в возрасте от 6 лет и 6 месяцев до 7 лет 5 месяцев и 29 дней. К группе детей 8 лет относили детей в возрасте от 7 лет и 6 месяцев до 8 лет 5 месяцев и 29 дней и т.д.

Исходный массив содержал 63 442 наблюдения. Очистка массива данных проводилась по протоколу, представленному в работе Corrales с соавторами [Corrales et al., 2018]. Оценивали количество пропущенных значений, их паттерн, уникальность значений и наличие выделяющихся из общего распределения наблюдений. Повторяющиеся и выделяющиеся из общего распределения наблюдения удаляли.

Были исключены дети, чья группа здоровья была выше II. Итоговый массив содержал 54 381 наблюдение. В таблице 1 представлена численность обследованных мальчиков в 6 возрастных группах.

Статистический анализ проводили в программной среде R (версия 4.2.1). Сначала дети были разделены на подгруппы в зависимости от z-значений ИМТ, как рекомендовано Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Дети, чей ИМТ находился в диапазоне от  $-2$  до  $1$  стандартного отклонения ( $-2 < SDS < 1$ ) были отнесены к подгруппе детей с нормальным весом. К подгруппе детей с недостаточным и избыточным весом были отнесены дети с ИМТ  $SDS \leq -2$  и  $\geq 1$  соответственно. К группе с ожирением были отнесены дети с ИМТ  $SDS \geq 2$ . Абсолютная и относительная численности обследованных подгрупп представлены в таблице 1.

Для всех показателей, отражающих моторное развитие, были рассчитаны стандартизированные оценки как отношение разницы случайной величины и ее математического ожидания к стандартному отклонению. Затем рассчитывалась сумма стандартизированных оценок всех тестов с учетом смены знака по результатам тестов «Челночный» и «спринтерский бег». То есть сумма рассчитывалась по следующей формуле: стандартизированная оценка теста «Бег 6 минут» + стандартизированная оценка теста «Прыжок с места» + стандартизированная оценка теста «Наклон вперед» – стандартизированная оценка теста «Челночный бег» – стандартизированная оценка теста «Сприн-

терский бег». Стандартизированные оценки рассчитывались для каждой возрастной группы.

Сравнение показателей моторного развития проводилось с помощью критерия Уилкоксона с поправкой Хохберга на множественное тестирование. Рассчитывали размер эффекта (отношение Z-статистики к квадрату из N), как показатель количественной разницы между исследуемыми группами. Затем выборка была разделена на тестовую и обучающую. Тестовая выборка включала 30% наблюдений, а обучающая выборка – 70% от итогового массива. Разделение проводилось таким образом, чтобы в группах было сбалансированное количество наблюдений относительно возрастной группы, ИМТ и остальных показателей. Строились линейная, квадратичная и обобщенные аддитивные модели. Для построения обобщенных аддитивных моделей использовали заданные параметрами пакета параметры. Максимальное количество сплайнов определялось как 4. Качество моделей оценивали с помощью стандартных метрик: информационных критериев AIC и  $R^2$ . Модели строились на основе исходных данных ИМТ для каждой возрастной группы отдельно. Выбиралась лучшая по метрикам качества модель, которая затем оценивалась на тестовой выборке. Для очистки массива данных использовали следующие пакеты, реализованные в программной среде R: «VIM», «mice», «dbscan». Для построения моделей использовали пакет «mgcv». Диагностика моделей проводилась с помощью пакета «mgcViz».

**Таблица 1. Численность обследованных мальчиков в зависимости от возрастной группы**  
**Table 1. Sample size of studied groups in accordance to age**

Нутритивный статус	Параметр	Возрастная группа					
		7 лет	8 лет	9 лет	10 лет	11 лет	12 лет
Недостаточная МТ	N	236	1235	1325	1011	815	550
	%	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>4,5</b>
	95% ДИ	16–21	15–17	11–13	8–10	8–10	4–5
Нормальная МТ	N	850	5443	6957	7006	6468	6078
	%	<b>66</b>	<b>69</b>	<b>65</b>	<b>62,5</b>	<b>57</b>	<b>51,5</b>
	95% ДИ	64–69	68–70	64–36	62–64	56–58	51–53
Избыточная МТ	N	96	654	1315	1514	1859	2193
	%	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>13,5</b>	<b>16</b>	<b>19</b>
	95% ДИ	6–9	7–9	11–13	13–14	15–17	18–20
Ожирение	N	99	610	1144	1669	2292	2962
	%	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
	95% ДИ	6–9	7–9	10–12	14–16	19–21	24–26
Общая численность		1281	7942	10741	11200	11434	11783

## Результаты

Среди обследованных мальчиков недостаточный вес встречался у 9,5% детей (95% ДИ: 9,2÷9,7), нормальный вес – у 60,2% детей (95% ДИ: 59,8÷60,6), избыточный вес и ожирение – у 30,3% детей (95% ДИ: 29,9÷30,7). Наибольшее число случаев избыточного веса и ожирения выявлено в группе мальчиков 12 лет, а наименьшее – в группе 7 и 8 лет (табл. 1).

В таблице 2 представлены результаты тестирования мальчиков 7–12 лет из 38 регионов РФ в зависимости от z-значений ИМТ. В среднем дети с избыточным весом и ожирением были на 2–5 см выше своих сверстников с нормальным весом (табл. 2). При этом дети с нормальным и недостаточным весом практически не отличались.

**Таблица 2. Общая характеристика мальчиков 7 – 12 лет в зависимости от z-значений ИМТ относительно референтной выборки ВОЗ**  
**Table 2. Sample characteristics of group of boys aged 7-12 years in accordance to the z-score of BMI values calculated using WHO criteria**

Возрастная группа, лет	Недостаточная МТ		Нормальная МТ		Избыточная МТ		Ожирение	
	Me (Q1:Q3)	P	Me (Q1:Q3)	Me (Q1:Q3)	P	Me (Q1:Q3)	P	
Длина тела, см								
7	<b>122</b> (119:125)	ns	<b>123</b> (119:127)	<b>125</b> (121:130)	*	<b>125</b> (120:130)	ns	
8	<b>124</b> (120:128)	*	<b>126</b> (122:130)	<b>128</b> (124:132)	*	<b>129</b> (123:134)	*	
9	<b>130</b> (124:135)	ns	<b>130</b> (127:135)	<b>134</b> (129:139)	*	<b>135</b> (130:140)	*	
10	<b>135</b> (130:140)	ns	<b>135</b> (131:140)	<b>138</b> (134:143)	*	<b>140</b> (135:145)	*	
11	<b>141</b> (135:147)	ns	<b>141</b> (136:146)	<b>143</b> (138:148)	*	<b>145</b> (140:150)	*	
12	<b>146</b> (141:152)	ns	<b>147</b> (141:152)	<b>148</b> (142:154)	ns	<b>150</b> (145:156)	*	
Масса тела, кг								
7	<b>20</b> (19:21)	*	<b>24</b> (22:26)	<b>30</b> (28:32)	*	<b>34</b> (31:37)	*	
8	<b>21</b> (20:22)	*	<b>25</b> (23:28)	<b>31</b> (29:34)	*	<b>36</b> (33:39)	*	
9	<b>23</b> (21:25)	*	<b>28</b> (25:30)	<b>35</b> (32:37)	*	<b>40</b> (36:43)	*	
10	<b>25</b> (23:27)	*	<b>30</b> (28:33)	<b>37</b> (35:40)	*	<b>43</b> (40:48)	*	
11	<b>28</b> (25:27)	*	<b>33</b> (30:36)	<b>40</b> (37:43)	*	<b>47</b> (43:51)	*	
12	<b>30</b> (28:32)	*	<b>36</b> (33:40)	<b>43</b> (39:46)	*	<b>50</b> (46:56)	*	
Спринтерский бег 30 м, секунды								
7	<b>6,9</b> (6,3:7,2)	ns	<b>6,8</b> (6,3:7,0)	<b>6,9</b> (6,4:7,4)	ns	<b>6,9</b> (6,7:7,5)	*	
8	<b>6,8</b> (6,3:7,0)	ns	<b>6,8</b> (6,2:7,0)	<b>6,8</b> (6,3:7,2)	ns	<b>6,9</b> (6,5:7,4)	*	
9	<b>6,5</b> (6,0:7,0)	ns	<b>6,4</b> (6,0:6,9)	<b>6,5</b> (6,0:7,0)	ns	<b>6,8</b> (6,2:7,2)	*	
10	<b>6,1</b> (5,6:6,6)	ns	<b>6,1</b> (5,7:6,6)	<b>6,2</b> (5,8:6,7)	*	<b>6,4</b> (5,9:6,9)	*	
11	<b>5,9</b> (5,5:6,4)	ns	<b>5,9</b> (5,4:6,4)	<b>6,0</b> (5,5:6,4)	*	<b>6,1</b> (5,7:6,6)	*	
12	<b>5,7</b> (5,4:6,0)	ns	<b>5,7</b> (5,3:6,0)	<b>5,8</b> (5,3:6,1)	*	<b>5,9</b> (5,5:6,3)	*	
Стайерский бег 6 минут, метры								
7	<b>800</b> (658:950)	ns	<b>800</b> (700:930)	<b>800</b> (600:903)	ns	<b>800</b> (700:900)	ns	
8	<b>850</b> (700:950)	ns	<b>850</b> (730:960)	<b>850</b> (720:951)	ns	<b>800</b> (700:900)	*	
9	<b>900</b> (790:100)	ns	<b>910</b> (800:1000)	<b>900</b> (790:1000)	ns	<b>850</b> (700:1000)	*	
10	<b>1000</b> (850:110)	ns	<b>1000</b> (850:1000)	<b>992</b> (820:1080)	ns	<b>918</b> (800:1000)	*	
11	<b>1000</b> (900:1186)	ns	<b>1050</b> (900:1180)	<b>1000</b> (900:1000)	*	<b>960</b> (850:110)	*	
12	<b>1100</b> (1000:1200)	ns	<b>1100</b> (1000:1210)	<b>1050</b> (950:1050)	*	<b>1000</b> (900:1150)	*	

Примечание. Медиана – Me, межквартильный размах – Q1:Q3, МТ – масса тела, \* –  $P_{adj} < 0,05$  (после поправки на множественное тестирование) при сравнении группы с нормальной МТ против группы с недостаточной, избыточной массой тела и ожирением.

Notes. Median – Me, interquartile range – Q1:Q3, \* –  $P_{adj} < 0,05$  (after Hochberg correction) comparison of normal weight with underweight, overweight and obese.

**Есть продолжение**  
**Continued**

Продолжение таблицы 2  
Table 2 continued

Возрастная группа, лет	Недостаточная МТ		Нормальная МТ		Избыточная МТ		Ожирение	
	Me (Q1:Q3)	P	Me (Q1:Q3)	P	Me (Q1:Q3)	P	Me (Q1:Q3)	P
Челночный бег 10x3, секунды								
7	<b>10,3</b> (9,9:10,9)	ns	<b>10,2</b> (9,9:10,8)		<b>10,5</b> (10,0:11,0)	ns	<b>10,5</b> (10:11,0)	ns
8	<b>10,2</b> (9,9:10,8)	ns	<b>10,1</b> (9,8:10,7)		<b>10,3</b> (9,9:10,8)	ns	<b>10,3</b> (9,9:10,9)	ns
9	<b>9,8</b> (9,1:10,3)	ns	<b>9,8</b> (9,1:10,2)		<b>9,8</b> (9,2:10,3)	ns	<b>10,0</b> (9,5:10,5)	*
10	<b>9,3</b> (8,9:9,9)	ns	<b>9,3</b> (8,8:9,9)		<b>9,4</b> (8,9:9,9)	ns	<b>9,6</b> (9,0:10,1)	*
11	<b>9,2</b> (8,7:9,7)	ns	<b>9,0</b> (8,6:9,7)		<b>9,3</b> (8,7:9,8)	ns	<b>9,4</b> (8,9:9,9)	*
12	<b>9,0</b> (8,5:9,8)	ns	<b>8,9</b> (8,4:9,7)		<b>9,0</b> (8,5:9,8)	ns	<b>9,1</b> (8,6:9,9)	*
Прыжок с места, см								
7	<b>116</b> (107:126)	ns	<b>120</b> (110:130)		<b>119</b> (110:130)	ns	<b>118</b> (110:129)	ns
8	<b>120</b> (110:132)	ns	<b>120</b> (112:135)		<b>120</b> (110:130)	ns	<b>115</b> (105:130)	*
9	<b>130</b> (120:145)	ns	<b>133</b> (120:146)		<b>130</b> (120:145)	ns	<b>127</b> (115:140)	*
10	<b>143</b> (130:155)	ns	<b>142</b> (130:155)		<b>140</b> (130:154)	*	<b>135</b> (121:149)	*
11	<b>154</b> (140:165)	ns	<b>152</b> (140:165)		<b>150</b> (139:163)	*	<b>145</b> (132:158)	*
12	<b>160</b> (147:170)	ns	<b>160</b> (150:171)		<b>159</b> (148:170)	*	<b>155</b> (140:165)	*
Наклон вперед из положения стоя, см								
7	<b>4</b> (2:7)	ns	<b>4</b> (2:6)		<b>3</b> (2:6)	ns	<b>3</b> (1:5)	ns
8	<b>4</b> (2:6)	ns	<b>4</b> (2:6)		<b>4</b> (2:6)	ns	<b>3</b> (1:5)	*
9	<b>4</b> (2:7)	ns	<b>4</b> (2:7)		<b>4</b> (2:7)	ns	<b>4</b> (2:6)	*
10	<b>5</b> (3:8)	ns	<b>5</b> (3:8)		<b>5</b> (3:8)	ns	<b>4</b> (2:6)	*
11	<b>6</b> (3:9)	ns	<b>5</b> (3:8)		<b>5</b> (3:8)	ns	<b>5</b> (2:7)	*
12	<b>5</b> (3:8)	ns	<b>6</b> (3:9)		<b>6</b> (3:9)	ns	<b>5</b> (2:8)	*
Сумма стандартизированных оценок показателей моторного развития								
7	<b>0.0</b> (-1.5:2.6)	ns	<b>0.2</b> (-1.9:2.5)		<b>-0.4</b> (-1.7:2.0)	ns	<b>-1.4</b> (-2.3:1.9)	ns
8	<b>0.1</b> (-2.0:2.0)	ns	<b>0.3</b> (-1.9:2.5)		<b>-0.1</b> (-2.1:1.9)	ns	<b>-1.1</b> (-3.5:1.0)	*
9	<b>0.1</b> (-2.4:2.3)	ns	<b>0.4</b> (-1.8:2.6)		<b>-0.1</b> (-2.0:2.2)	*	<b>-1.2</b> (-2.9:0.9)	*
10	<b>0.5</b> (-1.7:2.6)	ns	<b>0.4</b> (-1.7:2.7)		<b>0.0</b> (-2.1:2.2)	*	<b>-1.1</b> (-3.1:1.5)	*
11	<b>0.5</b> (-1.7:2.7)	ns	<b>0.7</b> (-1.4:2.8)		<b>0.0</b> (-2.1:2.3)	*	<b>-1.0</b> (-3.0:1.0)	*
12	<b>0.0</b> (-1.9:2.0)	*	<b>0.7</b> (-1.4:2.8)		<b>0.1</b> (-1.9:2.3)	*	<b>-0.8</b> (-2.9:1.4)	*

Размер эффекта варьировал от 0,08 до 0,22. Наибольший размер эффекта был достигнут при сравнении длины тела между группами мальчиков 10–12 лет с нормальным весом и ожирением по ИМТ (табл. 3).

По показателям моторного развития мальчики с недостаточным и нормальным весом практически не отличались (табл. 2). Наибольшая разница была достигнута между группой детей с нормальным весом и ожирением. Дети с нормальным ИМТ в среднем лучше справлялись с тестовыми заданиями, чем дети с высокими значениями ИМТ. Например, разница в результатах стайерского бега увеличивалась с возрастом (табл. 2). В 7-летнем возрасте разницы между детьми из указанных групп не было, в 8–10 лет она варьировала от 50 до 80 метров, к 11–12 годам она достигала 100 метров (табл. 2).

По спринтерскому бегу и челночному бегу разница составила 0,1–0,4 секунды. По прыжку с места 2–7 сантиметров. По наклону вперед из положения стоя разница была незначительной. Наибольший размер эффекта был обнаружен при сравнении показателей моторного развития детей с нормальным весом и признаками ожирения в возрастных группах 10–12 лет (табл. 3). В остальных случаях количественная разница была незначительной.

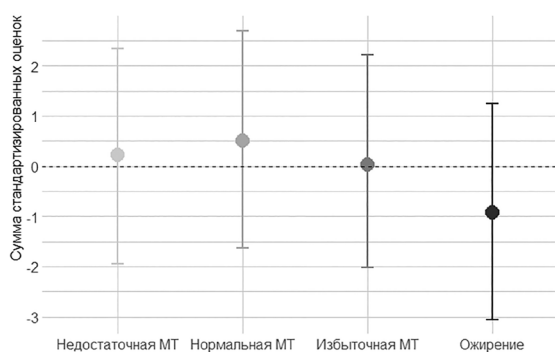
Дополнительно была рассчитана сумма стандартизированных оценок показателей моторного развития (табл. 2). У 57% (95% ДИ: 56–57) детей с нормальной массой тела сумма стандартизированных оценок показателей моторного развития была выше популяционного среднего. Аналогично с двигательными тестами справились дети с недостаточной массой тела

**Таблица 3. Размер эффекта, полученный при сравнении группы мальчиков с нормальным весом и групп с недостаточным, избыточным весом и ожирением**  
**Table 3. Effect size between the group of normal weight and the groups of underweight, overweight and obese subjects**

Возрастная группа, лет	Недостаточная МТ	Избыточная МТ	Ожирение по ИМТ
Длина тела			
7	0,09	0,12	0,08
8	0,10	0,10	0,11
9	0,08	0,14	0,18
10	0,03	0,14	0,22
11	0,01	0,12	0,22
12	0,01	0,05	0,20
Спринтерский бег (30 метров)			
7	0,05	0,05	0,14
8	0,02	0,03	0,10
9	0,04	0,02	0,13
10	0,01	0,05	0,13
11	0,01	0,05	0,16
12	0,03	0,05	0,17
Стайерский бег (6 минут)			
7	0,01	0,05	0,02
8	0,02	0,01	0,09
9	0,02	0,04	0,10
10	0,00	0,04	0,12
11	0,03	0,08	0,18
12	0,00	0,09	0,20
Челночный бег			
7	0,03	0,07	0,06
8	0,03	0,04	0,07
9	0,01	0,04	0,12
10	0,00	0,04	0,12
11	0,03	0,05	0,15
12	0,04	0,04	0,13
Прыжок с места			
7	0,06	0,02	0,03
8	0,04	0,03	0,10
9	0,04	0,04	0,13
10	0,01	0,05	0,16
11	0,00	0,05	0,17
12	0,04	0,05	0,18
Наклон вперед из положения стоя			
7	0,05	0,01	0,06
8	0,01	0,01	0,07
9	0,03	0,03	0,08
10	0,00	0,00	0,10
11	0,04	0,02	0,07
12	0,02	0,01	0,09

(58%, 95%ДИ: 57–60%). Среди детей с избыточной массой тела и ожирением только 50% (95%ДИ: 49–50%) и 38% (95%ДИ: 37–39%) имели сумму стандартизованных оценок выше популяционного среднего ( $P_{adj}=4 \times 10^{-12}$  и  $P_{adj}=3 \times 10^{-20}$ ). Как видно из рисунка 1, дети с

Возрастная группа, лет	Недостаточная МТ	Избыточная МТ	Ожирение по ИМТ
Сумма стандартизованных оценок показателей моторного развития			
7	0,01	0,04	0,08
8	0,03	0,03	0,12
9	0,05	0,05	0,15
10	0,00	0,05	0,15
11	0,02	0,08	0,22
12	0,05	0,07	0,21



**Рисунок 1. Сумма стандартизованных оценок двигательных тестов в зависимости от нутритивного статуса**  
**Figure 1. Sum of z-scores of motor skills according to nutritional status**

ожирением хуже всех справлялись с двигательными тестами. Их суммарная оценка варьировала от  $-1,4$  до  $-0,8$  в зависимости от возраста (табл. 2). В то же время у детей с нормальным весом она была выше – от  $0,3$  до  $0,7$  (рис. 1). Размер эффекта был наибольшим между этими подгруппами и достигал  $0,22$  (табл. 3). Несмотря на небольшую количественную разницу, прослеживается нелинейная зависимость между показателями моторного развития и ИМТ (рис. 1).

Поскольку наблюдалась тенденция к ухудшению показателей моторного развития с увеличением ИМТ, был оценен паттерн зависимости между показателями моторного развития и нестандартизованными данными ИМТ. В таблице 4 представлены метрики качества (информационный критерий Акаике (AIC) и коэффициент детерминации ( $R^2$ )), по которым оценивали качество построенной модели.

Метрики качества были получены на обучающей выборке. ИМТ объясняет от 0,1 до 5% изменчивости показателей моторного развития (табл. 4).

Эффективные степени свободы в обобщенных линейных моделях связаны с параметрами сглаживания и могут быть показателем линейной

**Таблица 4. Метрики качества полученных моделей (линейной, квадратичной и обобщенной аддитивной)**

**Table 4. Quality assessment of the models (linear, quadratic and GAM-models)**

Возрастная группа	Линейная		Квадратичная			Обобщенная аддитивная	
	AIC	R <sup>2</sup>	AIC	R <sup>2</sup>	edf	AIC	R <sup>2</sup>
Спринтерский бег (30 метров)							
7 лет	1810	0,01*	<b>1805</b>	<b>0,02*</b>	<b>2,2</b>	<b>1805</b>	<b>0,02*</b>
8 лет	11310	0,003*	<b>11287</b>	<b>0,01*</b>	<b>2,5</b>	<b>11284</b>	<b>0,01*</b>
9 лет	16143	0,008*	<b>16079</b>	<b>0,02*</b>	<b>1,9</b>	<b>16076</b>	<b>0,02*</b>
10 лет	15828	0,014*	<b>15789</b>	<b>0,02*</b>	<b>2,0</b>	<b>15789</b>	<b>0,02*</b>
11 лет	15312	0,02*	<b>15291</b>	<b>0,02*</b>	<b>2,4</b>	<b>15290</b>	<b>0,02*</b>
12 лет	14644	0,02*	<b>14602</b>	<b>0,03*</b>	<b>2,6</b>	<b>14604</b>	<b>0,03*</b>
Стайерский бег (6 минут)							
7 лет	8317	0	8318	0	1	8317	0
8 лет	52802	0,003*	<b>52780</b>	<b>0,009*</b>	2,41	52782	0,008*
9 лет	75337	0,008*	75302	0,01*	<b>2,9</b>	<b>75295</b>	<b>0,02*</b>
10 лет	80225	0,01*	<b>80218</b>	<b>0,01*</b>	<b>2,4</b>	<b>80217</b>	<b>0,01*</b>
11 лет	83828	0,02*	83818	0,02*	<b>2,9</b>	<b>83799</b>	<b>0,03*</b>
12 лет	88570	0,03*	88558	0,03*	<b>2,8</b>	<b>88552</b>	<b>0,03*</b>
Челночный бег (3 x 10)							
7 лет	<b>1766</b>	<b>0,005*</b>	1767	0,004	<b>1</b>	<b>1766</b>	<b>0,005*</b>
8 лет	10639	0,001*	<b>10617</b>	<b>0,006*</b>	<b>2,4</b>	<b>10617</b>	<b>0,006*</b>
9 лет	16535	0,008*	<b>16506</b>	<b>0,01*</b>	<b>2,6</b>	<b>16503</b>	<b>0,01*</b>
10 лет	16421	0,01*	<b>16377</b>	<b>0,02*</b>	<b>2,7</b>	<b>16376</b>	<b>0,02*</b>
11 лет	17587	0,01*	17574	0,02*	<b>2,9</b>	<b>17561</b>	<b>0,02*</b>
12 лет	19901	0,009*	<b>19881</b>	<b>0,01*</b>	<b>2,4</b>	<b>19884</b>	<b>0,01*</b>
Прыжок в длину с места							
7 лет	6483	0	6485	0	1	6483	0
8 лет	42307	0,002*	<b>42252</b>	<b>0,01*</b>	2,6	42254	0,01*
9 лет	58669	0,007*	<b>58611</b>	<b>0,01*</b>	<b>2,7</b>	<b>58603</b>	<b>0,01</b>
10 лет	62165	0,02*	62111	0,03*	<b>2,7</b>	<b>62111</b>	<b>0,03</b>
11 лет	63777	0,03*	63761	0,03*	<b>2,7</b>	<b>63756</b>	<b>0,03*</b>
12 лет	67079	0,02*	<b>67040</b>	<b>0,03*</b>	<b>2,7</b>	<b>67040</b>	<b>0,03*</b>
Наклон вперед из положения стоя							
7 лет	4205	0,004*	4207	0,003*	<b>2,9</b>	<b>4200</b>	<b>0,01*</b>
8 лет	25964	0,001*	25958	0,003*	<b>2,4</b>	<b>25957</b>	<b>0,004*</b>
9 лет	35449	0,003*	<b>35436</b>	<b>0,005*</b>	<b>2,5</b>	<b>35434</b>	<b>0,005*</b>
10 лет	38138	0,005*	38119	0,008*	<b>2,8</b>	<b>38112</b>	<b>0,009*</b>
11 лет	39741	0,007*	39741	0,007*	<b>1,7</b>	<b>39740</b>	<b>0,007*</b>
12 лет	42096	0,004*	42078	0,007*	<b>2,6</b>	<b>42076</b>	<b>0,007*</b>
Сумма стандартизированных оценок показателей моторного развития							
7 лет	2340	0,01	2342	0,01	1	2340	0,01
8 лет	15484	0,01*	15462	0,17*	<b>2,4</b>	<b>15461</b>	<b>0,02*</b>
9 лет	22677	0,01*	22621	0,02*	<b>2,8</b>	<b>22617</b>	<b>0,03*</b>
10 лет	23983	0,02*	<b>23962</b>	<b>0,02*</b>	<b>2,4</b>	<b>23962</b>	<b>0,02*</b>
11 лет	25456	0,03*	25428	0,04*	<b>2,9</b>	<b>25414</b>	<b>0,04*</b>
12 лет	26503	0,03*	<b>26442</b>	<b>0,05*</b>	<b>2,8</b>	<b>26442</b>	<b>0,05*</b>

Примечание. AIC – информационный критерий Акаике, R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации, edf – эффективные степени свободы, \* – p-значение < порогового значения. Жирным выделены модели, для которых критерий AIC был наименьшим, а R<sup>2</sup> наибольшим.

Notes. AIC -The Akaike information criterion, R<sup>2</sup> – the coefficient of determination, edf – effective degree of freedom, \* – p-values less than threshold. The model that has the lowest value of AIC and the highest value of R<sup>2</sup> is highlighted in bold.

или нелинейной зависимости. Чаще всего, если их число близко к 1, то предполагается линейная зависимость. Если выше 1, то нелинейная зависимость. Для практически всех измеренных показателей моторного развития в группах 8–12 лет наблюдалась нелинейная зависимость, которая была близка к J-образной форме (рис. 2). Слишком низкие или, наоборот, высокие значения ИМТ были ассоциированы со сниженными показателями моторного развития. В группе 7-летних детей четкой зависимости обнаружено не было.

На рисунке 2 представлены графики зависимости, построенные с помощью регрессионного анализа на основе обобщенной аддитивной модели, показателей моторного развития детей 9 лет от их ИМТ. На рисунке видно, что зависимость имеет J-образную форму. В большинстве случаев пониженные или повышенные значения ИМТ связаны с ухудшением показателей моторного развития. Например, для группы мальчиков 9 лет, чей ИМТ равен 15–17,5 кг/м<sup>2</sup>, наблюдаются наилучшие показатели моторного развития. Мальчики с ИМТ менее или более этих значений в среднем справлялись с тестами хуже.

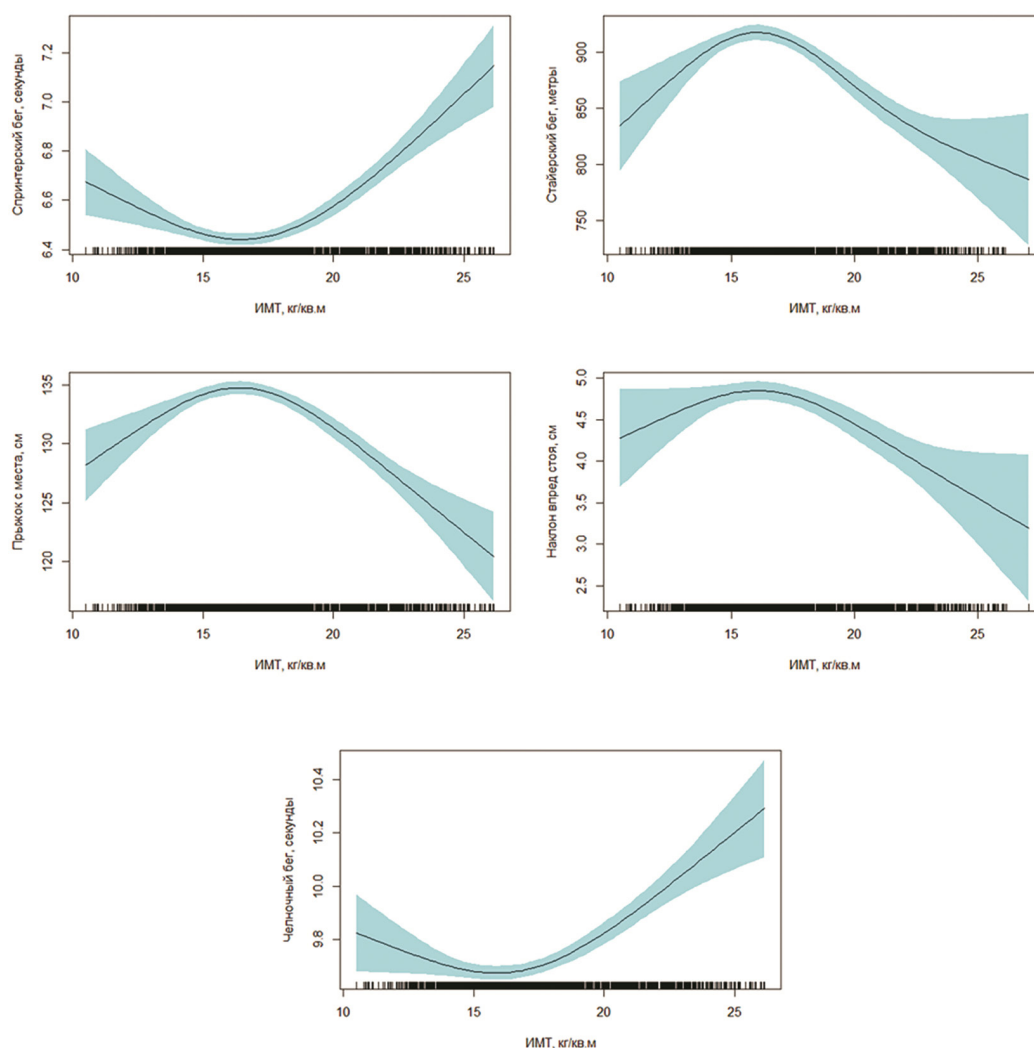


Рисунок 2. Графики зависимости показателей моторного развития детей 9 лет ( $N=10741$ ) в зависимости от ИМТ

Figure 2. Association of motor skills with body mass index in the group of 9 years old boys ( $N=10741$ )

Примечание. По оси Y – показатели двигательных тестов, по оси X – ИМТ, черная линия – линия тренда, 95% доверительный интервал отмечен серым цветом, штрихами по оси X отмечены наблюдения.

Notes. On the Y axis – results of motor skills testing, on the X axis – BMI, the black solid line – the trend line, 95% confidence interval is highlighted in grey, the observations are marked as strokes.



Аналогичные результаты были получены на тестовой выборке. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) варьировал от 0,01 до 5%. Как и для обучающей выборки, в большинстве случаев минимальный критерий Акаике был у моделей, где учитывались нелинейные взаимодействия между откликом и предиктором.

### Обсуждение

В данной работе анализировали паттерн зависимости показателей моторного развития и ИМТ. Выявлено, что в группах мальчиков 8–12 лет квадратичная функция лучше всего описывает зависимость показателей моторного развития от ИМТ. Описанная функция в большинстве случаев имела J-образную форму, то есть с увеличением ИМТ нелинейно снижается развитие моторики. Лучше всего с двигательными тестами справлялись дети с нормальным весом. От них практически не отличались дети с недостаточной массой тела. Хуже всего с тестами справлялись дети с ожирением, а дети с избыточной массой в большинстве случаев занимали промежуточное положение между детьми с нормальным весом и ожирением. При этом наибольшие размеры эффекта между указанными группами были обнаружены среди детей 10–12 лет. В группе 7-летних четкой зависимости между развитием моторики и ИМТ обнаружено не было.

Влияние избыточной массы и ожирения на моторное развитие у детей подробно рассмотрено во множестве работ [D'hondt et al., 2011; Castetbon, Andreyeva, 2012; Chivers et al., 2013; Kakebeeke et al., 2017; Barros et al., 2021; Nobre et al., 2022; Wood et al., 2022]. При этом D'hondt и коллеги показали в лонгитюдном исследовании, что снижение веса в целом благотворно влияло на показатели моторного развития [D'hondt et al., 2011]. Дети 10 лет, чей вес снизился до нормальных значений в результате терапии, включающей лечебное питание, физическую активность и психологическую поддержку, в итоге улучшали показатели моторного развития [D'hondt et al., 2011].

Влияние жировой массы и ИМТ усиливается на экстремумах, то есть чем больше доля жировой массы, тем больше ее негативное влияние, но эта зависимость прослеживалась толь-

ко для беговых и прыжковых тестов, а не силовых [Malina et al., 1995]. Предполагается, что слишком низкие значения ИМТ также могут быть ассоциированы с ухудшением развития моторных навыков. При сравнении детей 13–18 лет с недостаточным и нормальным весом была обнаружена значимая разница по некоторым показателям развития моторики, которая была обусловлена снижением развития скелетной мускулатуры [Altero et al., 2010]. По нашим данным, совпадающим в этом отношении с результатами ранее проведенных исследований [Huang, Malina, 2008; Lopes et al. 2018] разница между детьми с нормальным и недостаточным весом в возрастных диапазонах 6–10 и 9–12 лет в большинстве случаев была минимальной.

В большинстве исследований используется линейный регрессионный анализ, который не позволяет учитывать нелинейные взаимодействия между откликом и предикторами, либо проводится сравнение только групп с нормальным весом и ожирением. При использовании линейной модели не было выявлено значимой ассоциации между долей жировой массы, определенной по 3 кожно-жировым складкам, и показателями моторного развития детей 3–5 лет [Wood et al., 2022]. В других исследованиях была обнаружена слабая связь между результатами двигательных тестов, жировой массой и ИМТ в возрастных группах 3–5, 4 и 10–14 лет [Chivers et al., 2013; Kakebeeke et al., 2017; Nobre et al., 2022;]. В целом, при сравнении детей с нормальным весом и ожирением использование линейных моделей оправдано, так как наблюдается отрицательная зависимость между показателями моторного развития и долей жировой массы тела или ИМТ [Lopes et al., 2018]. Однако, включение в группу детей с низкими значениями ИМТ может снизить процент объясненной дисперсии. В связи с этим можно предположить, что причиной противоречивых результатов исследований может стать именно нелинейность связи ИМТ и показателей моторного развития. В проведенном нами исследовании показано, что при анализе всего спектра ИМТ (от низких до высоких значений) необходимо учитывать нелинейность этой связи. В большинстве случаев именно полиномиальная функция, определяемая квадратичным полиномом, лучше всего описывает указанные

зависимости. Аналогичные результаты были получены для группы детей в возрасте 6–10 лет, 12–15 лет и 9–18 лет [Bovet et al., 2007; Huang, Malina, 2008; Lopes et al. 2018]. По данным Lopes и коллег зависимость между показателями моторного развития и ИМТ является линейной в возрасте 7 лет [Lopes et al. 2018]. Huang и Malina показали, что в возрасте от 9 до 12 лет зависимость чаще всего имеет J-образную форму, после 12 лет преобладала U-образная зависимость [Huang, Malina, 2008]. Таким образом, наблюдается влияние возраста на паттерн зависимости между моторным развитием и ИМТ. Но необходимо заметить, что авторы указанных исследований не проводили сравнение полученных нелинейных моделей с линейными.

В группе 7-летних детей четкой зависимости между развитием моторики и ИМТ обнаружено не было. Наши данные согласуются с ранее полученными результатами [Huang, Malina, 2008; Lopes et al. 2018]. Lopes и коллеги также отметили, что в возрасте 6-7 лет для некоторых тестов не было обнаружено значимой разницы между группами с разным ИМТ [Lopes et al. 2018]. Но вследствие небольшого размера группы детей 7 лет можно предположить, что отсутствие различий по некоторым тестам может быть также обусловлено невозможностью достичь порогового значения статистической мощности, а не физиологическими особенностями. Поэтому в будущем необходимо увеличить размер выборки для подтверждения полученных эффектов на выборке детей, проживающих на территории РФ.

Связь ИМТ, как показателя жирового отложения, и моторного развития не представляется простой, она имеет нелинейный характер и может включать ряд факторов, влияющих как на показатели моторного развития, так и на сам ИМТ. В связи с этим, выделяется несколько перспективных направлений для дальнейших исследований.

Учитывая, что двигательная функция интегрирует в процессе своей реализации практически все функции организма, можно полагать, что полученная в процессе анализа нелинейная зависимость позволяет вычлнить зону условного физиологического оптимума состава тела с точки зрения адаптационного потенциала организма – эта зона соответствует области переги-

ба кривой, имеющей J-образную форму зависимости двигательных возможностей от ИМТ, в которой отмечаются наиболее высокие результаты реализации двигательной функции. В дальнейшем будет интересно сопоставить местоположение этой зоны условного оптимума на шкале ИМТ у детей различных возрастно-половых групп.

ИМТ может выступать и как предиктор, и как модератор или медиатор связи функциональных возможностей с другими факторами. В данной работе оценивали связь ИМТ и моторного развития без ввода дополнительных предикторов. Поэтому представляется перспективным ввод дополнительных предикторов, например, социально-экономического статуса или уровня двигательной активности, которые могут модулировать влияние ИМТ на моторное развитие детей разных возрастов. Также представляется перспективной оценка влияния отдельных компонентов состава тела детей на показатели моторного развития, так как ИМТ не определяет соотношение жировой и безжировой массы, а только позволяет предполагать наличие избыточного или недостаточного жирового отложения. По нашим данным, совпадающим в этом отношении с результатами ранее проведенных исследований [Lopes et al. 2018], степень влияния величины ИМТ на проявления моторики у детей 7–12 лет невелика. Процент объясненной дисперсии не превышает 5%. Очевидно, что в формировании двигательных возможностей участвуют различные эндогенные и экзогенные факторы, не учтенные нами. В частности, в проведенной работе мы не имели возможности учитывать биологический возраст обследованных, который может внести весомый вклад в изменчивость изученных показателей.

Одно из негативных последствий избыточного жирового отложения и ухудшения моторного развития – это снижение двигательной активности, которое в дальнейшем может только усугубить эти проблемы. Дети с избыточным весом и ожирением имеют тенденцию быть меньше задействованы в подвижных играх и двигательной активности в целом, а с возрастом эта разница только увеличивается [Belcher et al., 2010]. В связи с этим, при планировании физической активности детей с разным ИМТ рекомендуется учитывать этот факт.

## Заключение

В данной работе анализировали паттерн зависимости показателей моторного развития от величины ИМТ у 54 381 мальчиков в возрасте 7–12 лет из 38 регионов РФ. Несмотря на низкий процент объясненной дисперсии показателей моторного развития, прослеживается четкая зависимость между развитием некоторых моторных навыков и ИМТ. Для группы 7-летних детей четкой зависимости между развитием моторики и ИМТ обнаружено не было. В то время как для возрастных групп 8-12 лет выявленная модель проявляется в форме J-образной зависимости двигательных возможностей от ИМТ. Дети с высоким ИМТ хуже справлялись с беговыми и прыжковыми тестами. Дети с нормальным и недостаточным весом практически не отличались по результатам двигательных тестов. Поскольку выявленная зависимость аналогична полученным на других популяциях, можно полагать, что с ее помощью возможно выявить зону оптимума ИМТ с точки зрения адаптационного потенциала организма, и в дальнейшем сопоставить эту зависимость у представителей разного пола и возраста, а ввод дополнительных предикторов может повысить процент объясненной дисперсии.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта всероссийского мониторинга состояния физического здоровья школьников, проводимого ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО» по заданию Минпросвещения РФ с 2021 г. Авторы выражают благодарность ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО» и руководителю центра мониторинга здоровья школьников проф. С.П. Левушкину за предоставленную возможность анализировать данные по результатам мониторинга в регионах Российской Федерации. Статистическая обработка и визуализация данных выполнены в рамках темы «Антропология евразийских популяций (биологические аспекты)» (номер ЦИТИС АААА-А19-119013090163-2).

## Библиография

Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В., Богова Е.А., Васюкова О.В. и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей». Проблемы эндокринологии, 2021. Т. 67. № 5. С. 67-83.

Соболева Н. П., Руднев С.Г., Николаев Д.В., Ерюкова Т.А., Колесников В.А. и др. Биоимпедансный скрининг населения России в центрах здоровья: распространенность избыточной массы тела и ожирения. Российский медицинский журнал, 2014. № 4. С. 4-13.

## Информация об авторах

Парфентьева Ольга Ивановна, к.б.н.; ORCID ID: 0000-0001-7895-6887; [parfenteva.olga@gmail.com](mailto:parfenteva.olga@gmail.com)

Сонькин Валентин Дмитриевич, д.б.н., проф.; ORCID ID: 0000-0003-3834-8080; [sonkin@mail.ru](mailto:sonkin@mail.ru)

Поступила в редакцию 12.12.2022,  
принята к публикации 25.01.2023.

<sup>1)</sup> *Lomonosov Moscow State University, Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, Mokhovaya st., 11, Moscow, 125009, Russia*

<sup>2)</sup> *Institute of Developmental Physiology Russian Academy of Education, Pogodynskaya st, 8/2, Moscow, 119121, Russia*

## NONLINEAR RELATIONSHIP BETWEEN MOTOR SKILLS AND BMI IN THE GROUP OF SCHOOL-AGE BOYS OF 7–12 YEARS

**Introduction.** *Childhood and adolescent obesity are associated with impairment of motor skills. However, studies assessing effect of underweight on motor skills as well as the relationship between body mass index (BMI) and motor skills are limited. The purpose of the study was to evaluate relationship between motor skills and BMI in the group of school-aged boys (7–12 years).*

**Material and methods.** *The data were collected from 7–12-year-old boys (1–5<sup>th</sup> grade) in the 38 Russia's federal constituent entities of eight federal districts. Height and weight were measured, BMI was calculated. Physical education teachers conducted the testing: endurance 6-minute run test (meters), 3x10 m shuttle run test (seconds), long standing jump (centimeters), forward bend test (centimeters), and 30-m sprint run test (seconds). The dataset contained 54 381 observations. The linear, quadratic and general additive models were built to check relationships between the motor skills and BMI.*

**Results.** *It was identified that high values of BMI are associated with impaired results of endurance and speed-strength abilities. Male children with a low and normal BMI values did not differ in motor skills. Despite a low level of explained variation of proportion of motor skills, a significant relationship between of motor development and BMI are noted. In the group of 7-year-old male children, the relationship was not identified. Whereas in the group of 8–12-year-old children it has a curvilinear relationship.*

**Conclusion.** *The relationship between motor skills and BMI is curvilinear (quadratic) in the group of 8–12-year-old boys. Hereafter, the modeling of non-linear relationship between motor development and BMI with other predictors might help identifying the optimum zone of body composition where the adaptation potential will be the highest. It is also allowed to compare this zone in the groups of different ages and sexes.*

**Keywords:** human biology; motor skills; BMI, population health monitoring; school-age children; nonlinear relationships; developmental physiology

DOI: 10.32521/2074-8132.2023.1.049-061 (MUAB)

### References

Peterkova V.A., Bezlepina O.B., Bolotova N.V., Bogova E.A., Vasyukova O.V. et al. Klinicheskie recomendacii "Ozirenie u detei" [Clinical recommendation "Childhood obesity"]. *Problemi Endocrinologii* [Endocrinology Issues], 2021, 67 (5), pp. 67-83. (In Russ.).

Soboleva N.P., Rudnev S.G., Nikolayev D.V., Eryukova T.A., Kolesnikov V.A. et al. Bioimpedansnii skринing naseleniya Rossii v centrakh zdorovia; rasprostranennost izbitochnoi massi i ozirenia [The bio-impedance screening of population in health centers: prevalence of surplus body mass and obesity]. *Rossiiskii medicinskii zurnal* [Russian Medical Journal], 2014, 4, pp. 4-13. (In Russ.).

Artero E.G., España-Romero V., Ortega F.B., Jiménez-Pavón D., Ruiz J.R. et al. Health-related fitness in adolescents: underweight, and not only overweight, as an influencing factor. The AVENA study. *Scandinavian*

*journal of medicine & science in sports*, 2010, 20 (3), p. 418-427. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2009.00959.x

Barros W.M.A., da Silva K.G., Silva R.K.P., da Silva Souza A.P., da Silva A.B.J. et al. Effects of Overweight/Obesity on Motor Performance in Children: A Systematic Review. *Frontiers in Endocrinology*, 2021, 12. DOI: 10.3389/fendo.2021.759165.

Belcher B.R., Berrigan D., Dodd K.W., Emken B.A., Chou C.P. et al. Physical activity in US youth: impact of race/ethnicity, age, gender, & weight status. *Medicine and science in sports and exercise*, 2010, 42 (12), p. 2211. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181e1fba9.

Bovet P., Auguste R., Burdette H. Strong inverse association between physical fitness and overweight in adolescents: a large school-based survey. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2007, 4 (1), pp. 1-8. DOI: 10.1186/1479-5868-4-24.

- Castetbon K., Andreyeva T. Obesity and motor skills among 4 to 6-year-old children in the United States: Nationally-representative surveys. *BMC pediatrics*, 2012, 12 (1), pp. 1-9. DOI: 10.1186/1471-2431-12-28.
- Chivers P., Larkin D., Rose E., Beilin L., Hands B. Low motor performance scores among overweight children: poor coordination or morphological constraints?. *Human Movement Science*, 2013, 32 (5), pp. 1127-1137. DOI: 10.1016/j.humov.2013.08.006.
- Corrales D.C., Corrales J.C., Ledezma A. How to address the data quality issues in regression models: a guided process for data cleaning. *Symmetry*, 2018, 10 (4), p. 99. DOI: 10.3390/sym10040099.
- D'hondt E., Gentier I., Deforche B., Tanghe A., De Bourdeaudhuij I. et al. Weight loss and improved gross motor coordination in children as a result of multidisciplinary residential obesity treatment. *Obesity*, 2011, 19 (10), pp. 1999-2005. DOI: 10.1038/oby.2011.150.
- Huang Y.C., Malina R.M. BMI and health-related physical fitness in Taiwanese youth 9-18 years. *Medicine and science in sports and exercise*, 2007, 39 (4), p. 701. DOI: 10.1249/mss.0b013e31802f0512.
- Takebe T.H., Lanzi S., Zysset A.E., Arhab A., Messerli-Bürgy N. et al. Association between body composition and motor performance in preschool children. *Obesity facts*, 2017, 10 (5), pp. 420-431. DOI: 10.1159/000477406
- Lopes V.P., Malina R.M., Maia J.A., Rodrigues, L.P. Body mass index and motor coordination: Non-linear relationships in children 6–10 years. *Child: care, health and development*, 2018, 44 (3), pp. 443-451. DOI: 10.1111/cch.12557.
- Malina R.M., Beunen G.P., Claessens A.L., Lefevre J., Eynde B.V. et al. Fatness and physical fitness of girls 7 to 17 years. *Obesity Research*, 1995, 3 (3), p. 221-231. DOI: 10.1002/j.1550-8528.1995.tb00142.x.
- Nobre J. N. P., Morais R.L.D.S., Fernandes A.C., Viégas Â.A., Figueiredo P.H.S et al. Is body fat mass associated with worse gross motor skills in preschoolers? An exploratory study. *PloS one*, 2022, 17 (3), p. e0264182. DOI: 10.1371/journal.pone.0264182.
- Onis M., Onyango A.W., Borghi E., Siyam A., Nishida C. et al. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization*, 2007, 85 (9) pp. 660-667. DOI: 10.2471/BLT.07.043497.
- Wood A. P., McMillan A.G., Imai S., Swift D., DuBose, K.D. Associations of Percent Body Fat and Motor Skill Development in Preschool-Aged Children: National Youth Fitness Survey. *Childhood Obesity*, 2022, 18 (1), pp. 50-55. DOI: 10.1089/chi.2021.0026.
- World Health Organization. Interim report of the commission on ending childhood obesity, *World Health Organization*, 2015, № WHO/NMH/PND/ECHO/15.1.

#### Information about Authors

Parfenteva Olga Ivanovna, PhD.; ORCID ID: 0000-0001-7895-6887; parfenteva.olga@gmail.com

Sonkin Valentin Dmitrievich, PhD; DBSci, professor; ORCID ID: 0000-0003-3834-8080; sonkin@mail.ru